



ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΣ ΝΕΥΡΟΨΥΧΟΛΟΓΙΑΣ



Η χαρτογράφηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας

Ο εντοπισμός των εγκεφαλικών λειτουργιών

◦ Fritsch & Hitzig (Γερμανία, 1870)

- Ο επιλεκτικός ηλεκτρικός ερεθισμός του φλοιού οδηγεί σε μείωση συμπεριφοράς (πειράματα σε σκύλους)
- *Εντοπισμός λειτουργιών*

Hughlings-Jackson (Βρετανία)

- Το νευρικό σύστημα αποτελείται από δομημένες στοιβάδες
- Λειτουργική ιεραρχία: στοιβάδες υψηλότερου επιπέδου (φλοιός) ⇒ πολύπλοκες συμπεριφορές, στοιβάδες χαμηλότερου επιπέδου (νωτιαίος μυελός, στέλεχος, ...) ⇒ λειτουργίες χαμηλότερου επιπέδου

Η χαρτογράφηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας

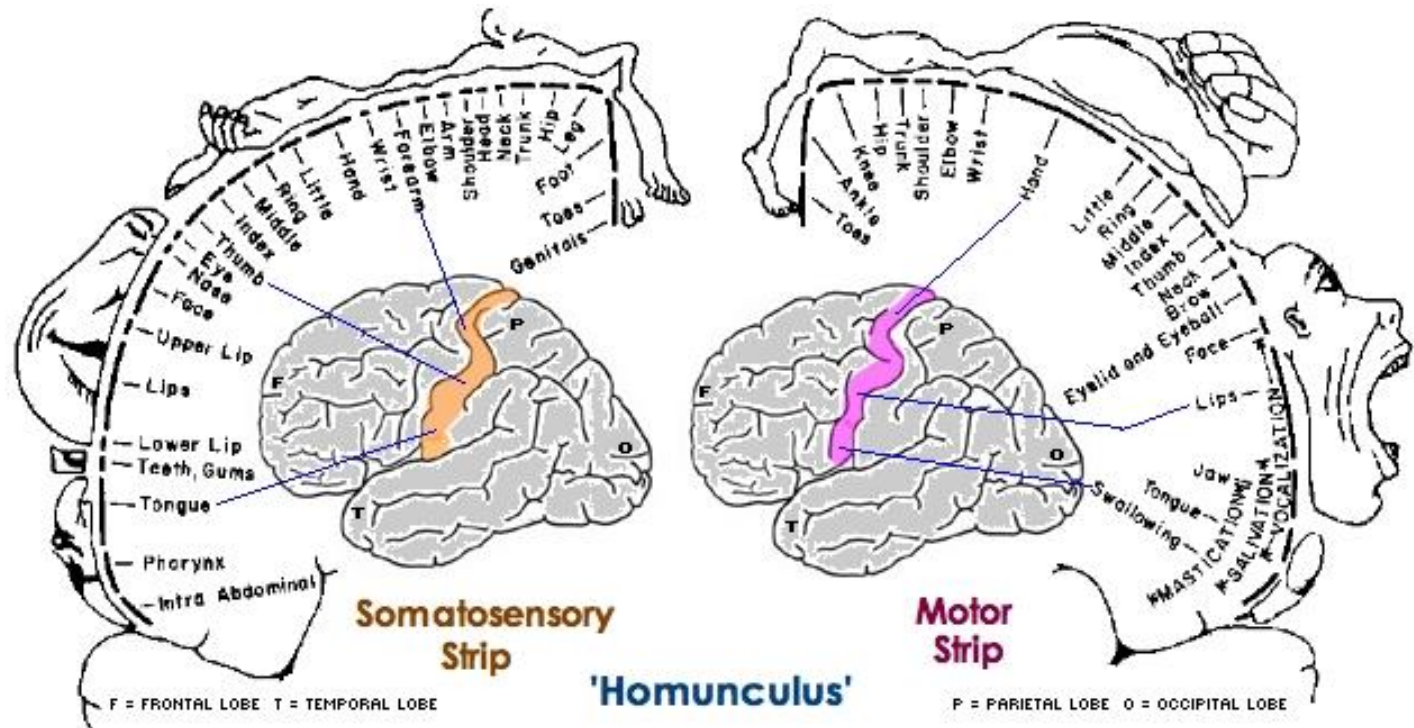
Brodmann (1909)

- Κυτταροαρχιτεκτονικοί χάρτες
- Στενή σχέση ανάμεσα σε περιοχές-λειτουργίες
- Περιοχές όρασης, κινητικής λειτουργίας: ειδική διάρθρωση
- Χρήση χάρτη ως οδηγού περιοχών του εγκεφάλου

Penfield

- Λειτουργικός χάρτης από μελέτες ηλεκτρικού ερεθισμού του εγκεφάλου κατά τη χειρουργική επέμβαση
- Κινητικές και αισθητικές λειτουργίες (ανθρωπάριο)

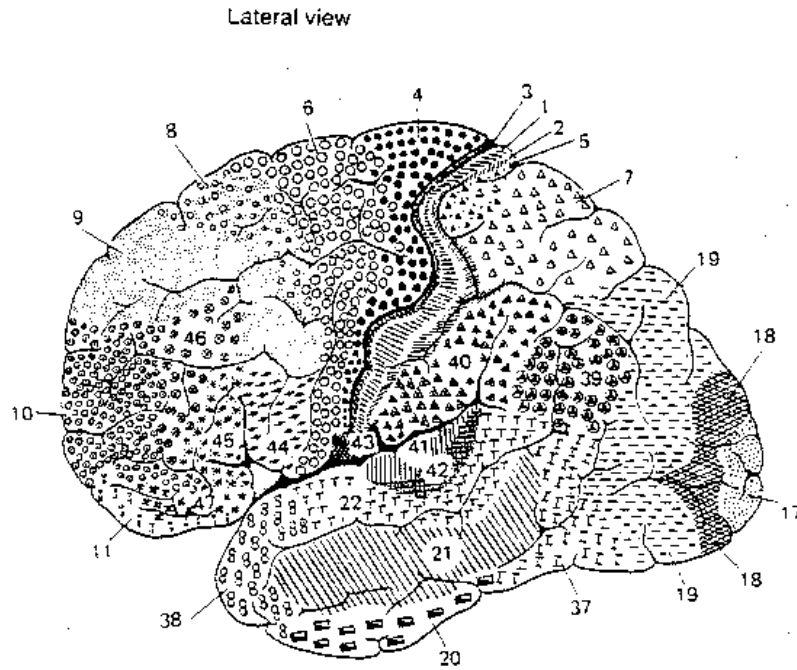
Η χαρτογράφηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας -συν.



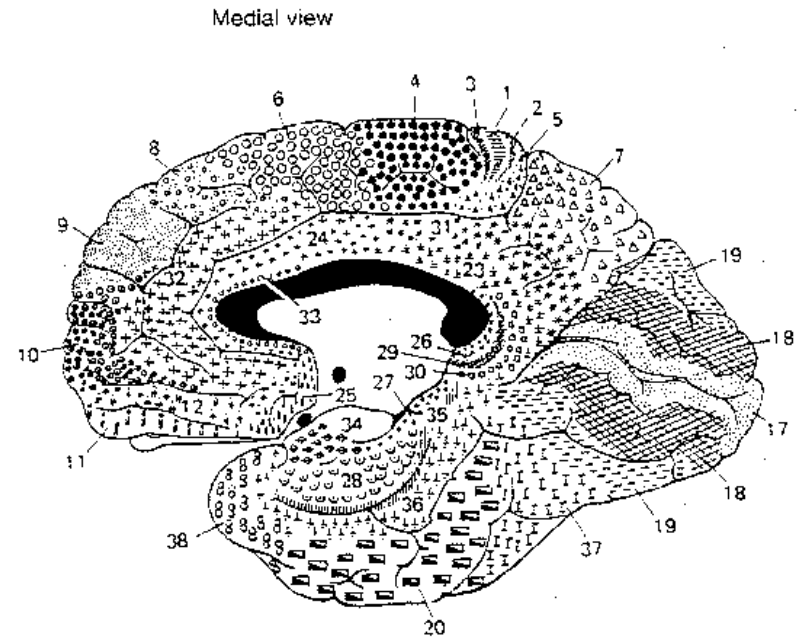
Οι χάρτες του Penfield

Brodmann

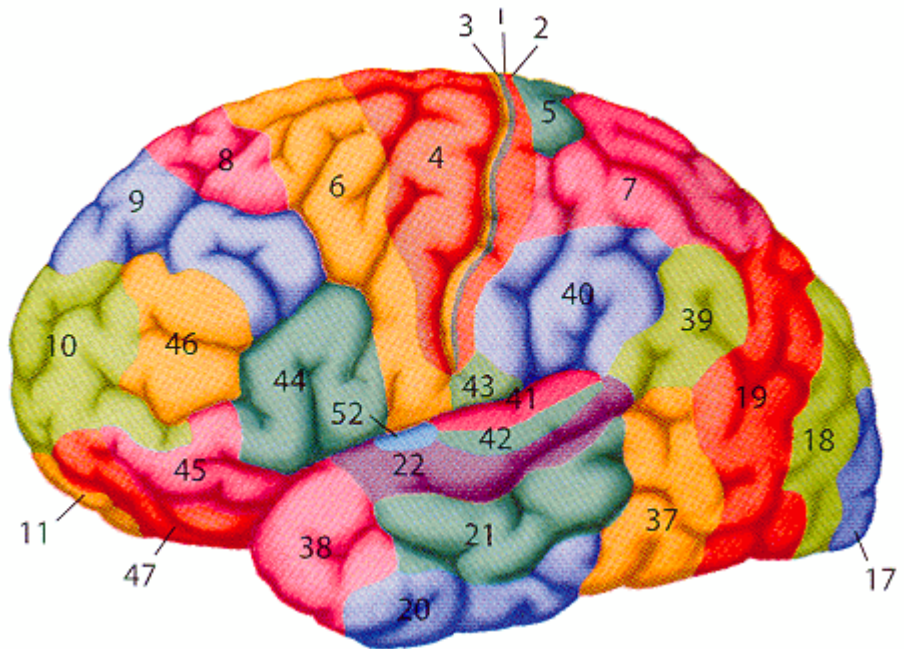
Πλάγια επιφάνεια



Μέση επιφάνεια



Brodmann



Η μελέτη μεμονωμένων περιστατικών

Πλεονεκτήματα

- Οι βλάβες δεν μπορούν να προκληθούν εργαστηριακά
- Η εγκεφαλική βλάβη μπορεί να δείχνει το ρόλο της κατεστραμμένης περιοχής σε μια λειτουργία
- Διαχρονική μελέτη εφικτή
- Μπορεί να καθορίσει θεωρίες για τη γνωστική λειτουργία (;)

Η μελέτη μεμονωμένων περιστατικών -συν.

Μειονεκτήματα

- Ατομικές διαφοροποιήσεις
- Η περιοχή της βλάβης μπορεί να ποικίλει, ή να μην περιγράφεται με ακρίβεια
- Η προνοσηρή κατάσταση μπορεί να είναι άγνωστη
- Άλλες κατεστραμμένες περιοχές μπορεί να προκαλέσουν παρατηρούμενες βλάβες
- Επίδραση φαρμακευτικής αγωγής, άλλων παραγόντων

Περιστατικά -1

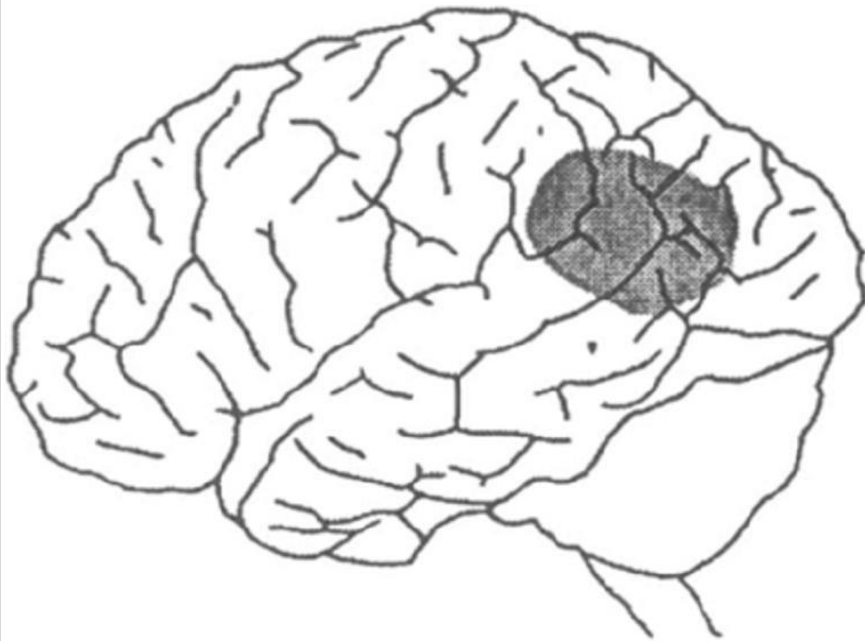
Zazetsky (Luria)

- Βλάβη στον Α βρεγματικό-ινιακό λοβό
- Καθημερινό ημερολόγιο για 25 έτη
- Διαταραχή στη γλώσσα, σημασιολογική μνήμη, ανάγνωση (γράμμα προς γράμμα), μνήμη, οπτικοχωρική λειτουργία, όχι όμως γραφή

The man with a shattered world

The story of a terrible brain injury

When I try to **read** a book, the most I can take in are three letters at a time (in the beginning I could only see one). I also have to focus a little to the right and above a letter in order to see it. That's the way I manage to see a letter,

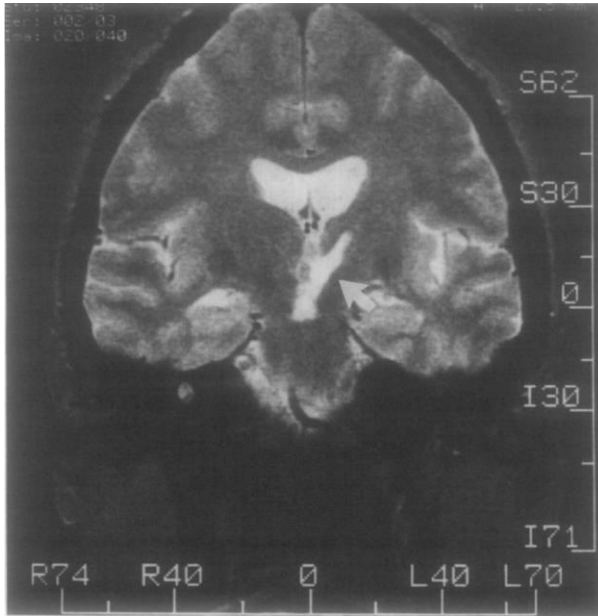


Περιστατικά -2

NA (Teuber et al., 1968, Parkin, 1997, 2003)

- Ξίφος μινιατούρα μέσα από τη μύτη, βλάβη στον Α θάλαμο, όχι στον κογχομετωπιαίο φλοιό
- Εντοπισμός βλάβης αργότερα, με MRI
- Σχέση βλάβης-περιοχής εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται
- Μετατραυματική αμνησία, εμπροσθόδρομη αμνησία (και κάποια οπισθόδρομη), παρόμοια με του HM
- Φυσιολογική ανάκληση γεγονότων πριν τον τραυματισμό (έως 2 χρόνια πριν το συμβάν)
- Εξωσωματικές εμπειρίες

Η περίπτωση του ΝΑ



T2 ακολουθία μετωπιαίας τομής πάχους 5 mm μέσω της θαλαμικής βλάβης. Η ένταση του σήματος είναι ίδια με του ENY.



T1 ακολουθία οβελιαίας τομής μέσω της θαλαμικής βλάβης.

Μεμονωμένα περιστατικά

Γενίκευση;

- Εκτίμηση πολλών μεμονωμένων περιστατικών
- Ασθενής Α: Λειτουργία 1 ΟΚ, Λειτουργία 2 **ΟΧΙ**
- Ασθενής Β: Λειτουργία 1 **ΟΧΙ**, Λειτουργία 2 ΟΚ
- Διπλός διχασμός;
- Όμως αυτό δεν δηλώνει απαραίτητα διαφορετικούς μηχανισμούς ή διαφορετικά λειτουργικά υποσυστήματα, αλλά διαφορά στη δυσκολία των δοκιμασιών
- Σπάνια η εγκεφαλική βλάβη επηρεάζει διακριτές περιοχές

Υπολογιστικές προσομοιώσεις

- Νευρωνικά δίκτυα
- Παράλληλη Κατανεμημένη Επεξεργασία (PDP, Rumelhart & McClelland, 1986), βαθιά μάθηση
- Προσομοίωση λαθών στην παραγωγή του λόγου, της βαθιάς δυσλεξίας, διαταραχών της αναγνώρισης προσώπων, της αναγνώρισης λέξεων, ...
- Απαιτούνται πολλές δοκιμές εκμάθησης



Η απεικόνιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ, EEG)

- Μη επεμβατική τεχνική (συνήθως)
- Σήμα από μετασυναπτικούς δενδρίτες εκατομμυρίων κυττάρων
- Σήμα αδύναμο ($< 100 \mu\text{Volt}$), που ενισχύεται για να παρουσιαστεί ως κύμα
- Σήμα: διαφορά δυναμικού μεταξύ 2 ηλεκτροδίων, όπου το ένα είναι **σημείο αναφοράς** (σε μέρος του σώματος με ελάχιστη ηλεκτρική δραστηριότητα, π.χ., λοβό αυτιού)
- Βασικό ΗΕΓ: ανάπαυση με τα μάτια κλειστά

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα -συν.

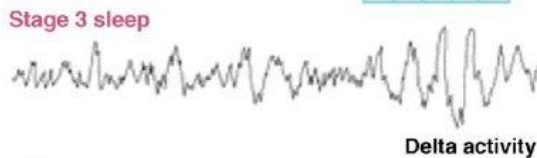
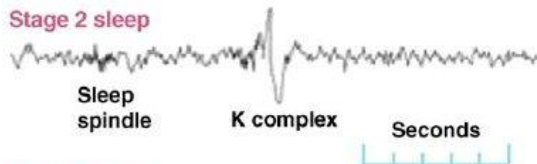
4 ζώνες:

Δέλτα (1-4 Hz) ύπνος

Θήτα (5-7 Hz) αρχικά στάδια του ύπνου

Άλφα (8-12 Hz) χαλάρωση

Βήτα (13-22 Hz) αφύπνιση, διέγερση



Γνωστική δραστηριότητα ή ερέθισμα: οι νευρώνες αποσυντονίζονται: αποσυγχρονισμός άλφα (αντικατάσταση άλφα από βήτα)

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα -συν.

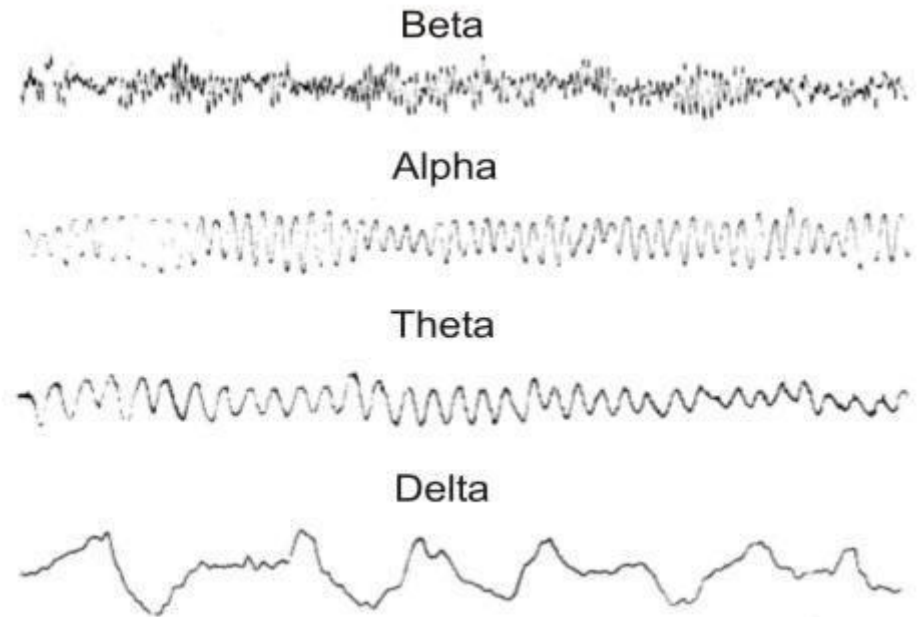
Πλεονεκτήματα

- Μη επεμβατικό
- Εξαιρετική χρονική ανάλυση, ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο
- Αντιδράσεις εγκεφάλου σε διάφορες ψυχολογικές μεταβλητές

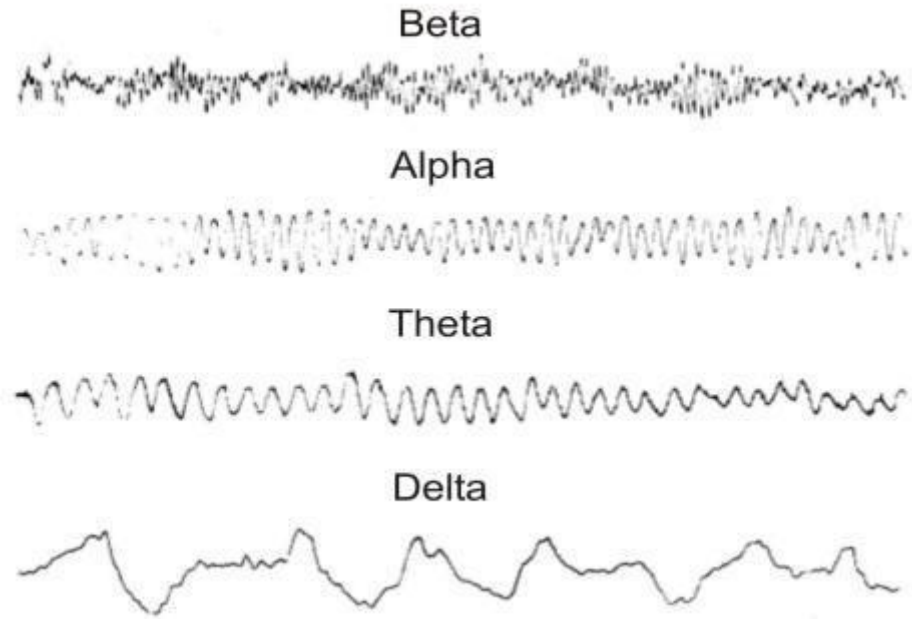
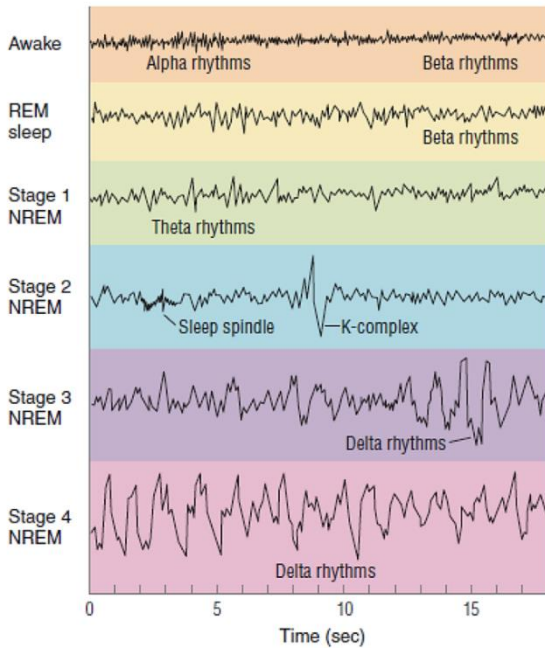
Μειονεκτήματα

- Φτωχή ικανότητα εντοπισμού (σήμα από μακριά από το σημείο καταγραφής, δραστηριότητα από εκατ. νευρώνες)
- Ασαφής σημασία

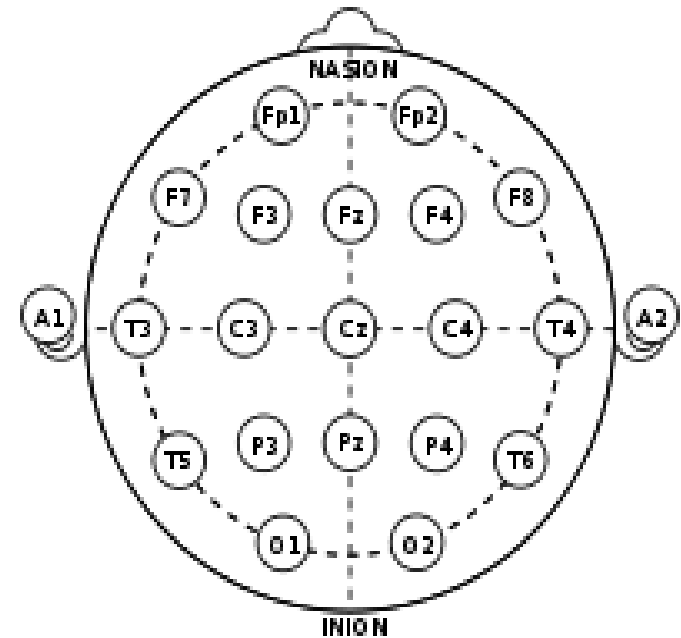
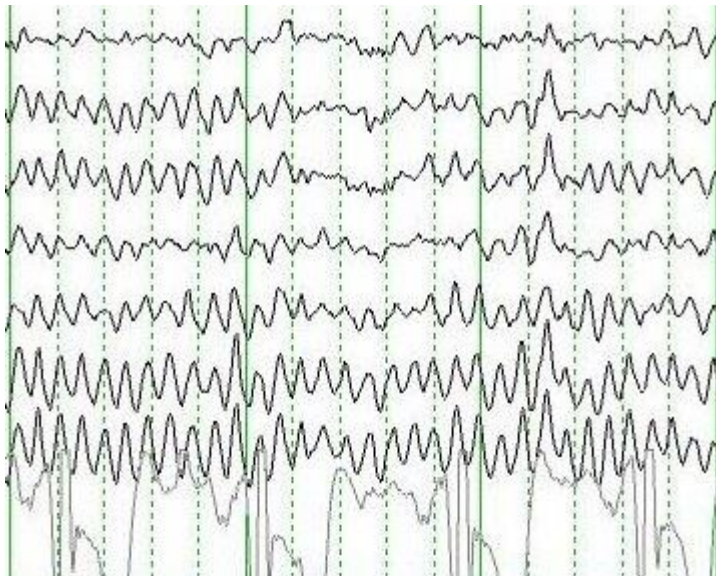
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα -συν.



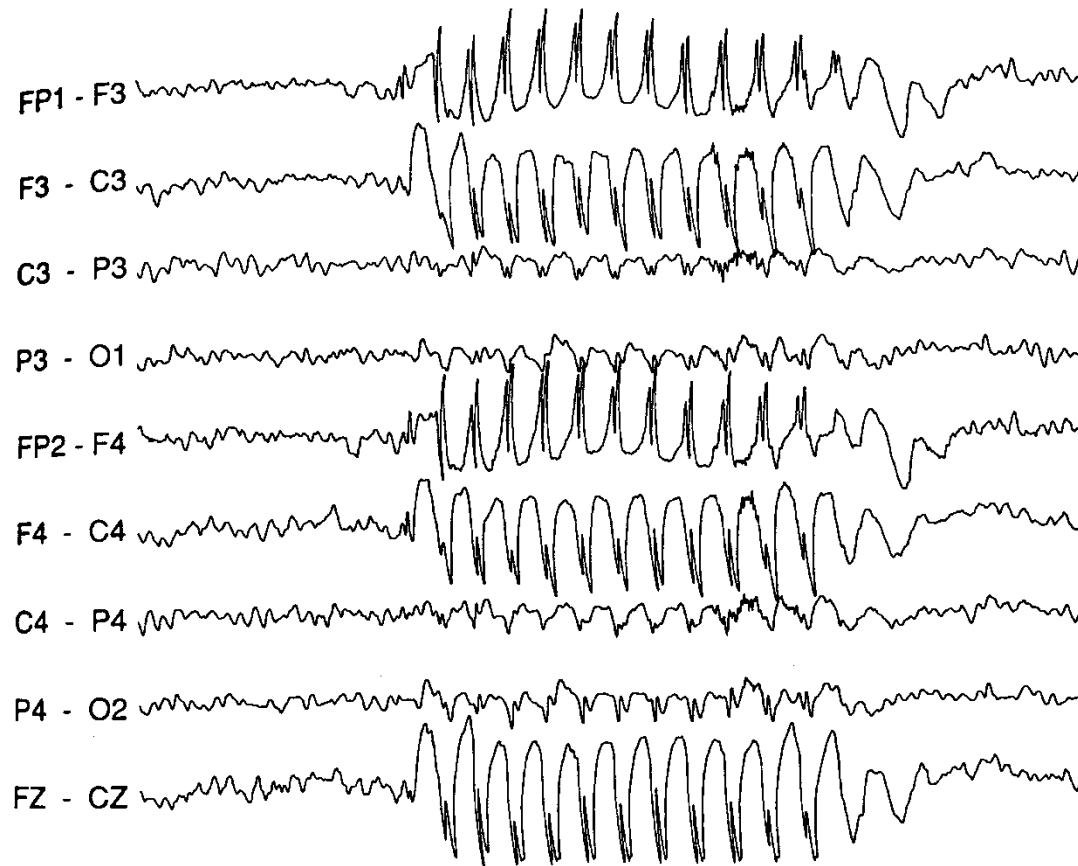
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα -συν.



Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα -συν.

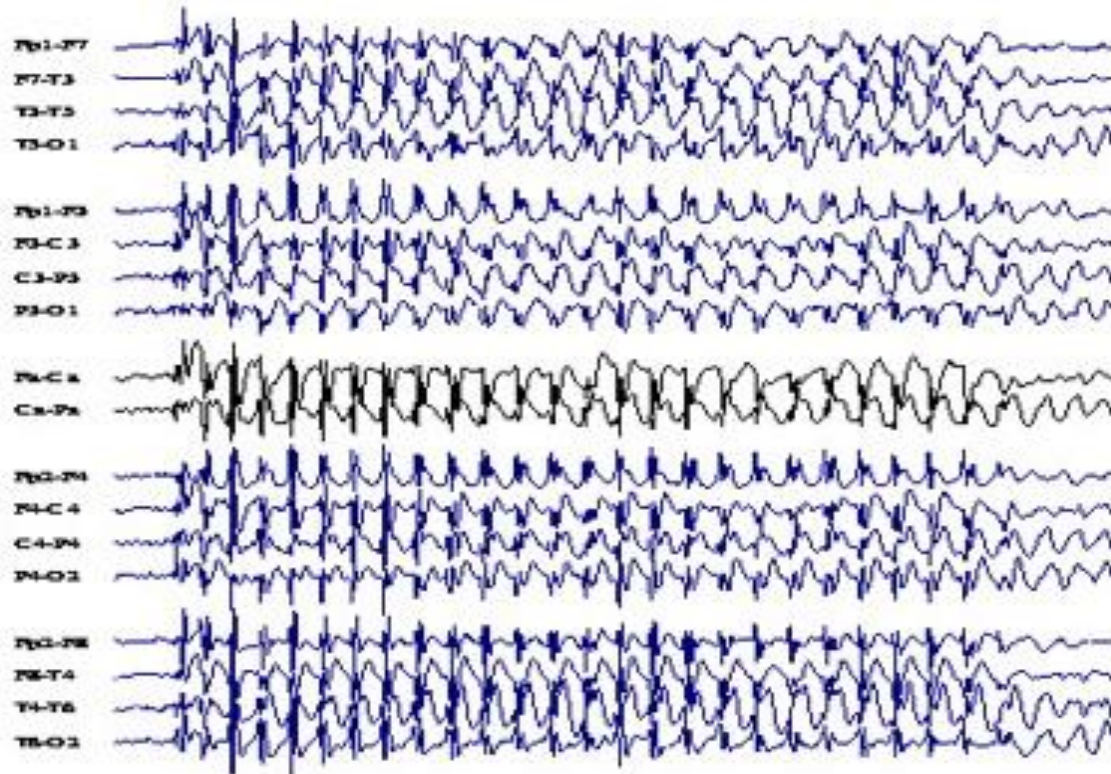


Αφαιρετικές κρίσεις



1 SEC. 200 μ V

Γενικευμένες κρίσεις



Δυναμικά Σχετιζόμενα με Συμβάντα (ERPs)

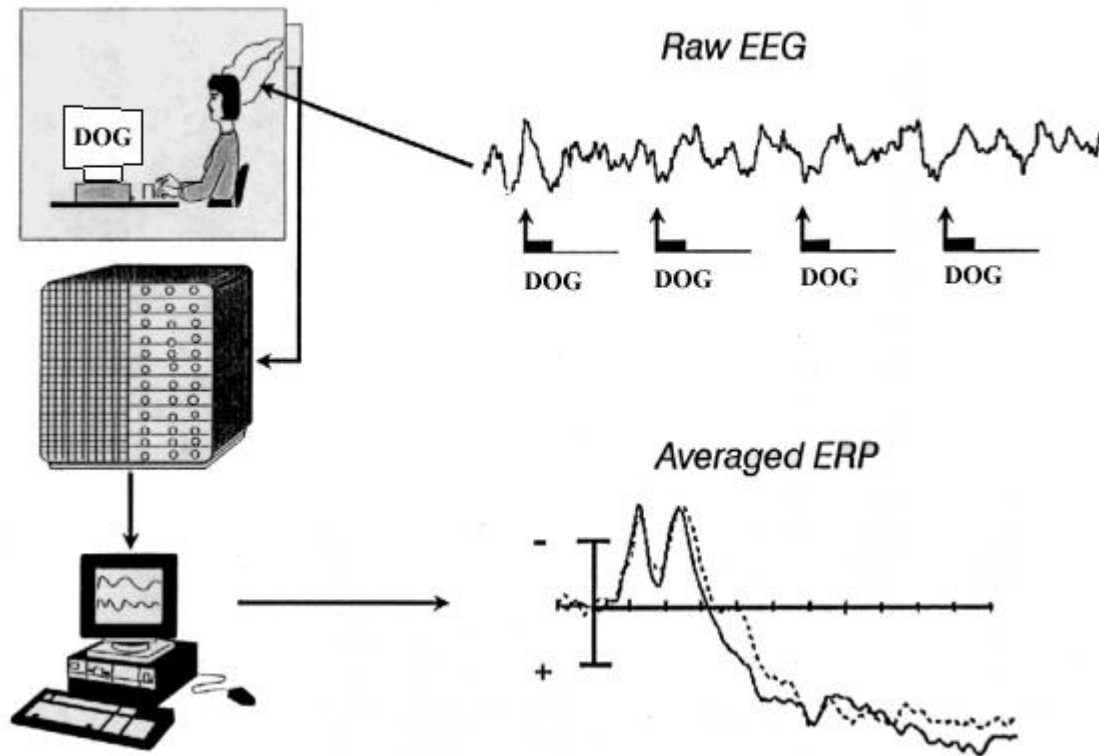
- Μεγάλες κυματομορφές ως συνέπεια κάποιου αισθητηριακού ή γνωστικού ερεθίσματος
- Η τεχνική ERP μειώνει το «θόρυβο» του ΗΕΓ και αυξάνει την αναλογία σήμα προς θόρυβο
- Πρόσθεση των αντιδράσεων του εγκεφάλου σε επαναλαμβανόμενο ερέθισμα, ηλεκτρονική άθροιση του μέσου όρου
- Κυματομορφές: P100, N100, P200, N200, P300, N400... ανάλογα με την πολικότητα (κατεύθυνση κορυφών τους) (N=negative, P=positive)

Δυναμικά Σχετιζόμενα με Συμβάντα -συν.

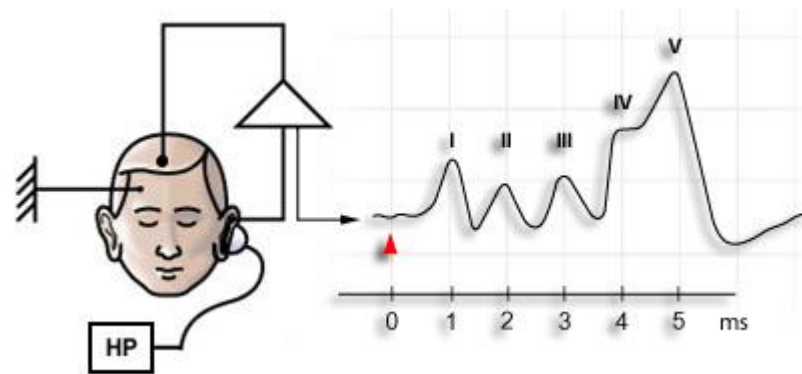
- Αρχικά δυναμικά (N100, P200): αρχική επεξεργασία του ερεθίσματος από τον εγκέφαλο
- Επόμενα (P300, N400): πτυχές της γνωστικής επεξεργασίας του ερεθίσματος
- P300: όταν ασυνήθιστα ερεθίσματα (oddballs) παρεμβάλλονται σε συνηθισμένα, διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διαφορετικότητα του τόνου, εξοικείωση με νέα στοιχεία
- Μελέτη γνωστικών διαδικασιών σε νευροψυχιατρικές διαταραχές (πχ., σχιζοφρένεια) & εκφυλιστικές διαταραχές (πχ., νόσος Alzheimer)

Δυναμικά Σχετιζόμενα με Συμβάντα -συν.

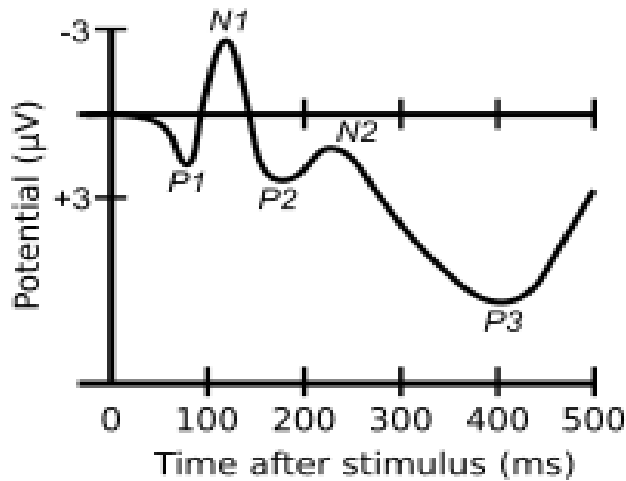
Event-Related Potential Technique



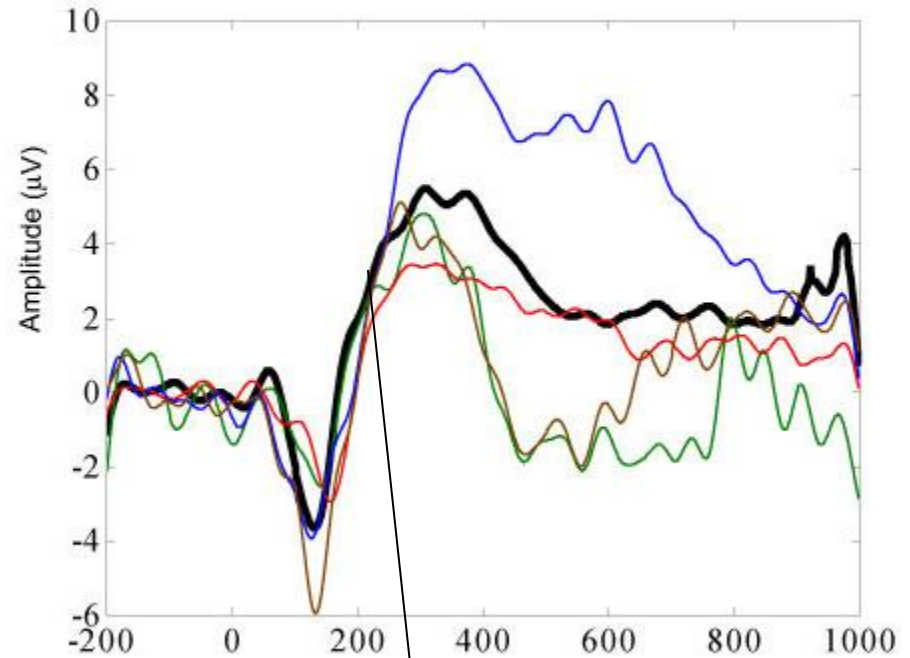
Ακουστικά προκλητά δυναμικά



Δυναμικά Σχετιζόμενα με Συμβάντα



Supplementary Fig. 1



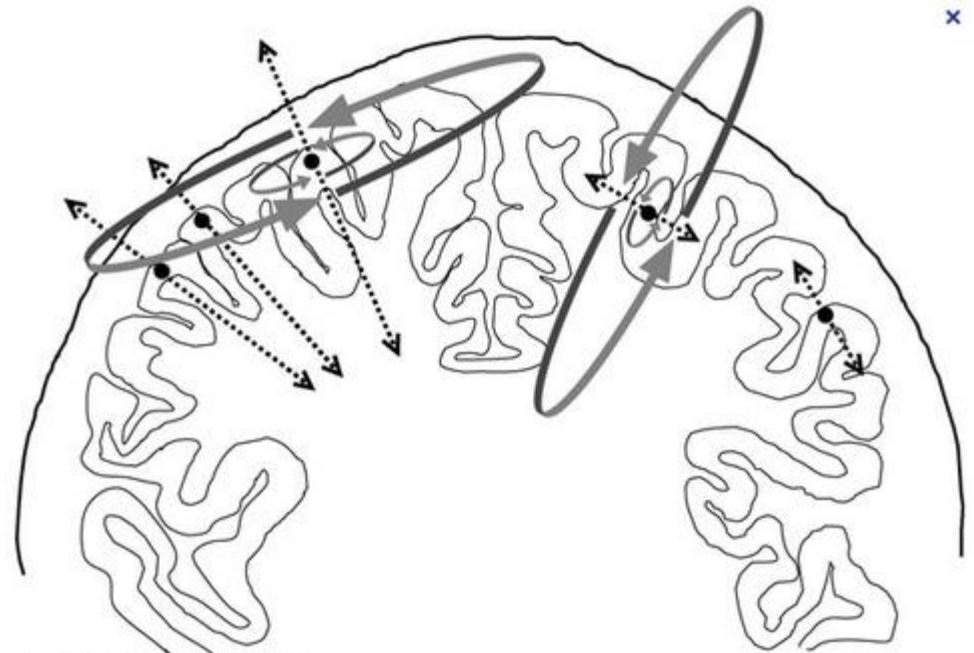
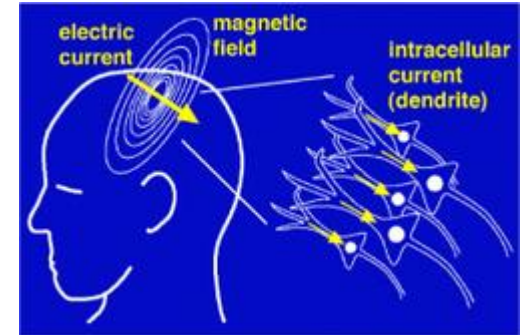
Ομάδα ελέγχου

Λοιπά: ασθενείς

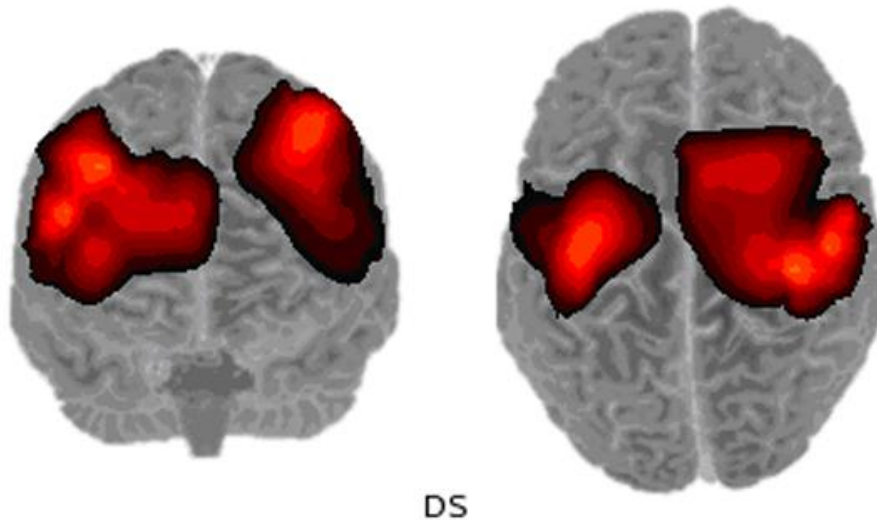
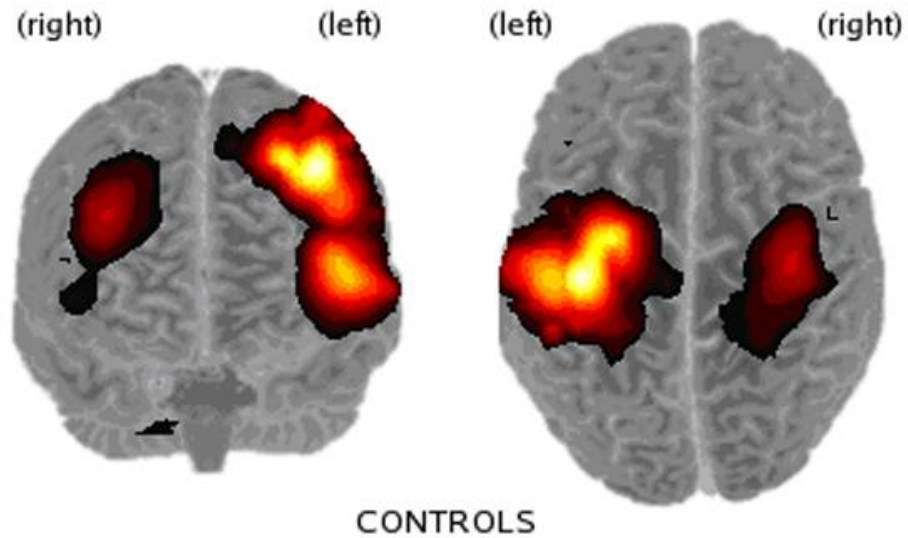
Μαγνητοεγκεφαλογράφημα (ΜΕΓ, MEG)

- Οι νευρώνες παράγουν και μαγνητικά πεδία
- Τα πεδία μετρώνται από μια συσκευή υπεραγώγιμης κβαντικής παρεμβολής (SQUID), εμποτισμένη με υγρό ήλιο
- Ανιχνευτές σήματος κινούνται στην επιφάνεια του κρανίου στέλνοντας σήματα στη SQUID
- Μετράει τη δραστηριότητα των μαγνητικών πεδίων από ένα μεγάλο αριθμό νευρώνων (τα πεδία από μεμονωμένους νευρώνες είναι αδύναμα)
- Σε αντίθεση με το ΗΕΓ, η ΜΕΓ εντοπίζει την **πηγή** της δραστηριότητας, που μπορεί να απεικονιστεί πάνω σε μια τρισδιάστατη εικόνα του εγκεφάλου

Μαγνητοεγκεφαλογράφημα



Μαγνητοεγκεφαλογράφημα



Brain activation during imitation studied with magnetoencephalography Left: magnetoencephalography (MEG) recording with a 306-channel whole scalp neuromagnetometer at the Brain Research Unit, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology.

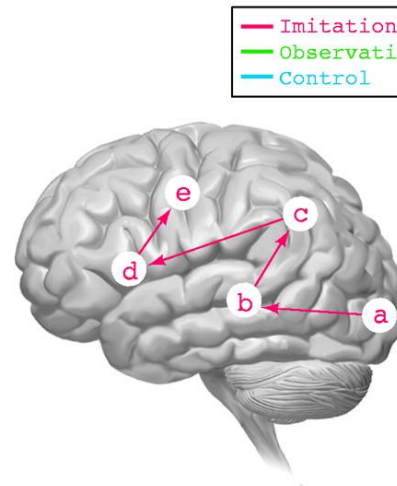
Whole-scalp neuromagnetometer



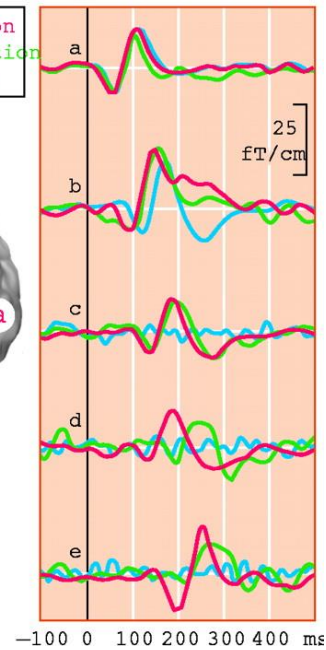
Nonverbal lip-form stimuli



Activation sequence



Responses



Nishitani N et al. Physiology 2005;20:60-69

©2005 by American Physiological Society

Physiology

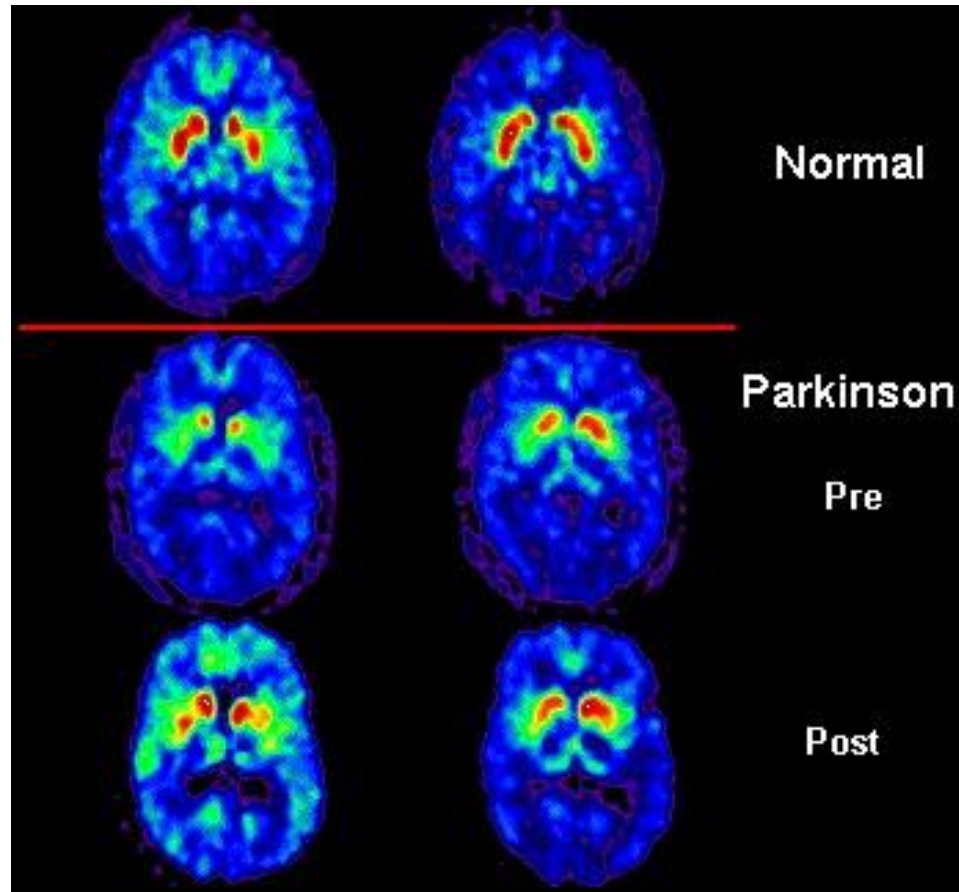
Τομογραφία εκπομπής ποσιτρονίων (PET)

- Μέθοδος καταγραφής της εγκεφαλικής λειτουργίας, μέσω της μέτρησης της κατανάλωσης οξυγόνου, της αιματικής ροής & του μεταβολισμού της γλυκόζης
- Χορήγηση ένεσης με **ραδιοενεργή γλυκόζη** (2DG)
- Τα ραδιοενεργά σωματίδια της 2DG εκπέμπουν ποζιτρόνια, που ανιχνεύονται από μια συσκευή
- Τα ποζιτρόνια συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια (θετικά και αρνητικά φορτία), εξαϋλώνονται, δημιουργούν **ακτίνες γ**, οι οποίες εξέρχονται από τον εγκέφαλο
- Περιοχές με έντονη δραστηριότητα: περισσότερες ακτίνες γ (απορροφούν περισσότερη γλυκόζη)

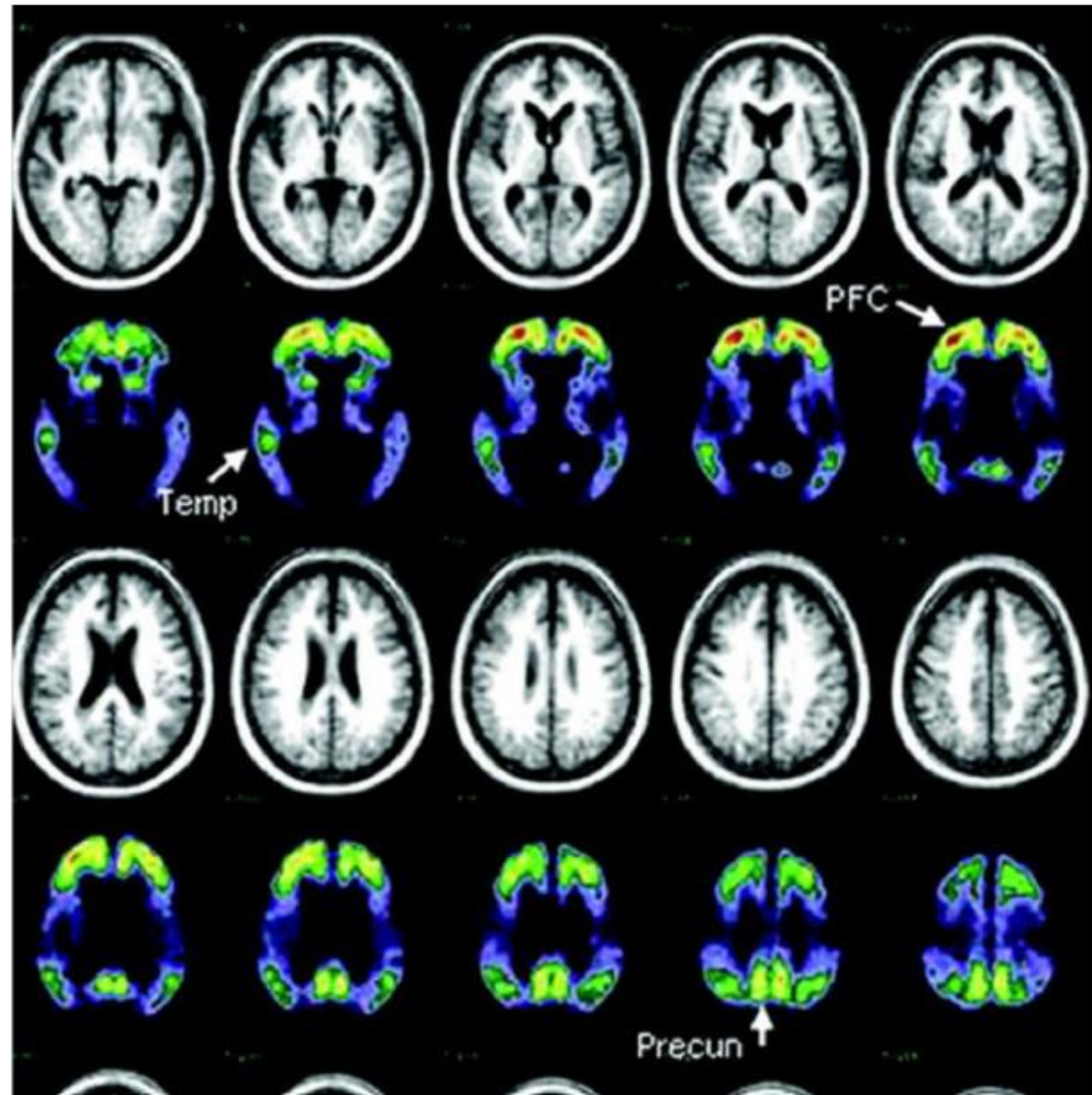
Τομογραφία εκπομπής ποσιτρονίων -συν.

- Έμμεση μέτρηση της νευρωνικής δραστηριότητας
- Επίσης: καταγραφή με ένεση **ραδιενεργού νερού**, που όταν αποσυντίθεται, εκπέμπει ποζιτρόνια
- Εικόνα της αιματικής ροής, βάσει της αρχής ότι η ροή αυξάνει, όταν οι νευρώνες ενεργοποιούνται
- Αποτύπωση πολλών μεταβολών στον εγκέφαλο (του pH, της γλυκόζης, του οξυγόνου, των αμινοξέων, νευροδιαβιβαστών, πρωτεϊνών, του β-αμυλοειδούς)
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **αφαίρεσης** (ενεργοποίηση – ηρεμία)
- Δεν εντοπίζει όλες τις περιοχές που είναι ενεργές κατά την επιτέλεση ενός έργου

Τομογραφία εκπομπής ποσιτρονίων -συν.



Το β-αμυλοειδές στη νόσο Alzheimer



Το β-αμυλοειδές στην προκλινική νόσο Alzheimer

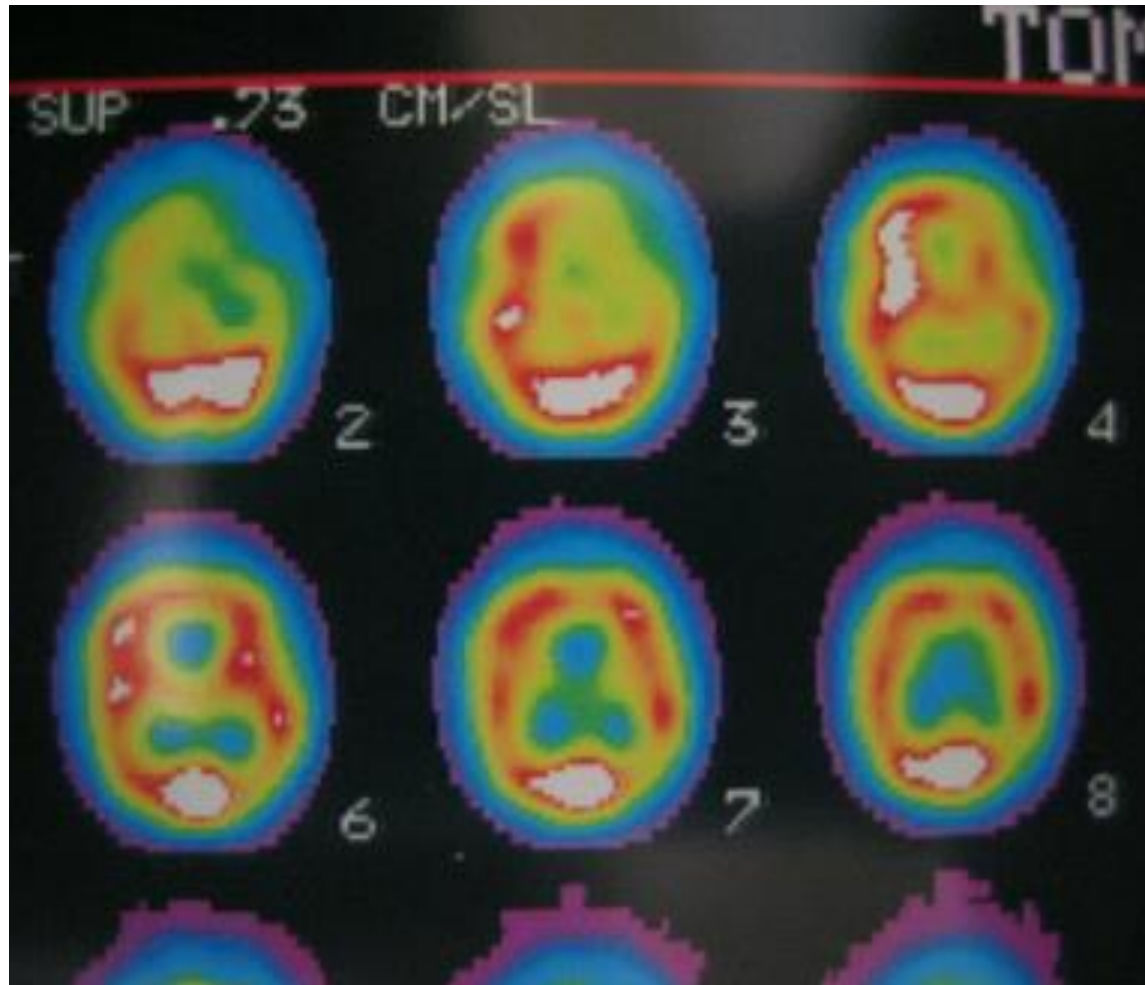
Vlassenko, A. G., Benzinger, T. L., & Morris, J. C. (2012). PET amyloid-beta imaging in preclinical Alzheimer's disease. *Biochimica et biophysica acta*, 1822(3), 370–379.

- Δυνατότητα ανίχνευσης παθολογίας της νόσου Alzheimer σε προκλινικά στάδια της νόσου, σε υγιείς γνωστικά ανθρώπους
- Το β-αμυλοειδές (Aβ) είναι βιοδείκτης
- Το [¹¹C]PIB PET (Pittsburg Compound B) μπορεί να ανιχνεύσει το Aβ *in vivo* σε υγιή γνωστικά άτομα, δηλ. σε προκλινικό στάδιο της νόσου
- Στην προηγούμενη εικόνα, τα βελάκια δείχνουν τον απορρόφηση του C PIB PET σε μη ανοϊκά άτομα, που ωστόσο εμφανίζουν τον βιοδείκτη

Τομογραφία εκπομπής μονήρων φωτονίων (SPECT)

- Εισαγωγή ραδιενεργών φαρμάκων (ΗΜΡΑΟ) στην κυκλοφορία του αίματος
- Ένας αισθητήρας με ευαισθησία στην **ακτινοβολία γ** καταγράφει της ακτίνες αυτές
- Ο αισθητήρας συνδέεται με σαρωτή που καταγράφει την κατανομή της ραδιενέργειας σε μια συνολική σάρωση
- Καταγραφή της δραστηριότητας **ενός** σημείου τη φορά

SPECT



Υποαιμάτωση Α κροταφικού και μετωπιαίου λοβού

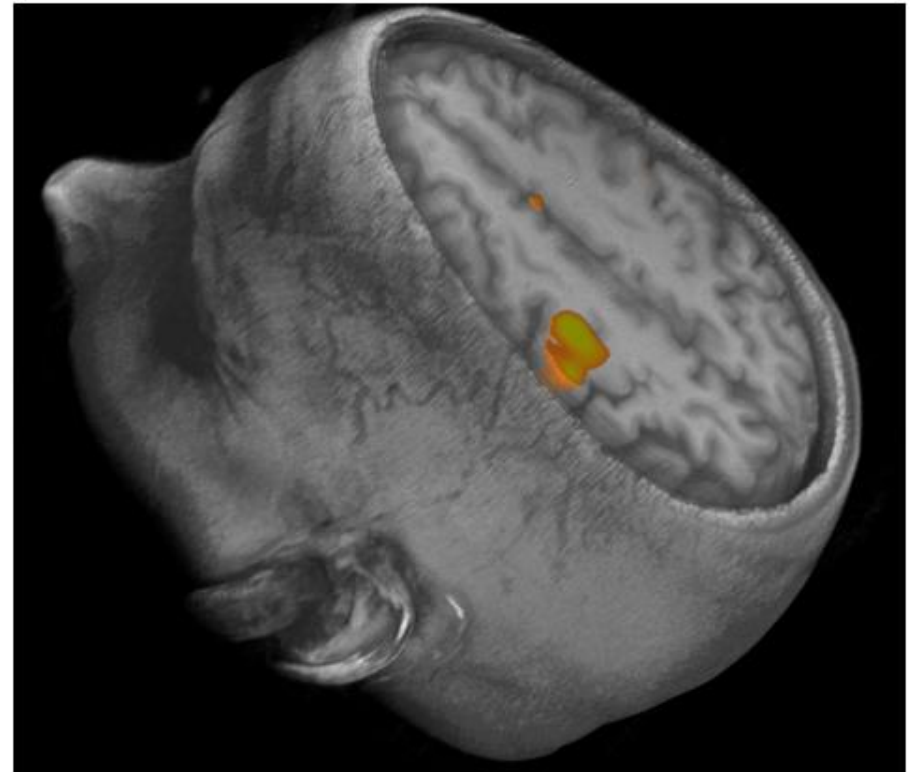
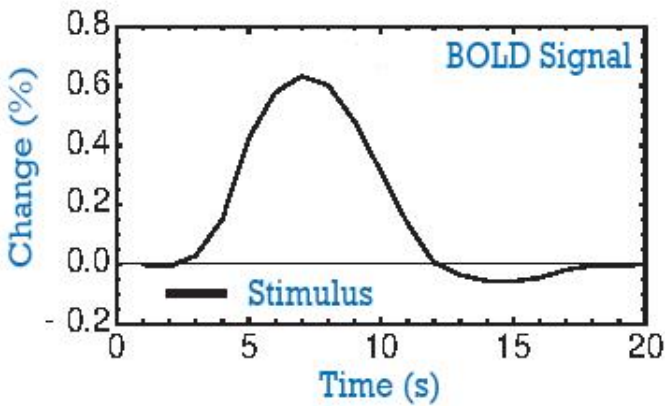
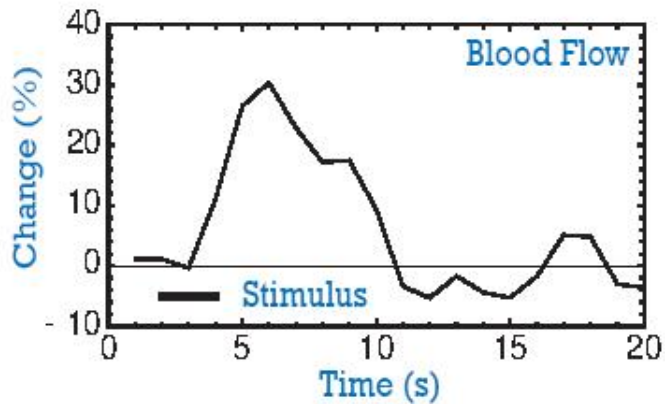
Λειτουργική μαγνητική τομογραφία (fMRI)

- Όταν η νευρωνική δραστηριότητα αυξάνεται σε κάποια περιοχή του εγκεφάλου, αυξάνεται κατά λίγο το μαγνητικό σήμα
- Ενεργοί νευρώνες: κατανάλωση οξυγόνου
- Η βάση του fMRI: **Αύξηση οξυγόνου** στην αιματική ροή (η συγκέντρωση οξυγόνου στο αίμα επηρεάζει τις μαγνητικές ιδιότητες της αιμοσφαιρίνης)-BOLD effect (blood oxygenation level dependent effect)
- Η fMRI ανιχνεύει αυτές τις μαγνητικές αλλαγές

Λειτουργική μαγνητική τομογραφία σε κατάσταση ηρεμίας

- Ο εγκέφαλος δεν είναι ομοιόμορφα ενεργός σε κατάσταση ηρεμίας
- Περιοχές που χρησιμοποιούνται από κοινού, διατηρούν ενεργές σχέσεις ακόμα και μετά το πέρας της δραστηριότητας
- Χαρτογράφηση λειτουργικών σχέσεων στον εγκέφαλο
- Μελέτη της οργάνωσης του εγκεφάλου στην ανάπτυξη, στην παθολογία

Λειτουργική μαγνητική τομογραφία (fMRI)



Courtesy of Dr. Richard Buxton, UC San Diego

Λειτουργική μαγνητική τομογραφία -συν.

Πλεονεκτήματα

- Λειτουργική απεικόνιση
- Μη επεμβατική, μη τοξική
- Καλή χωρική απεικόνιση (1 mm)
- Πιο οικονομική από το PET

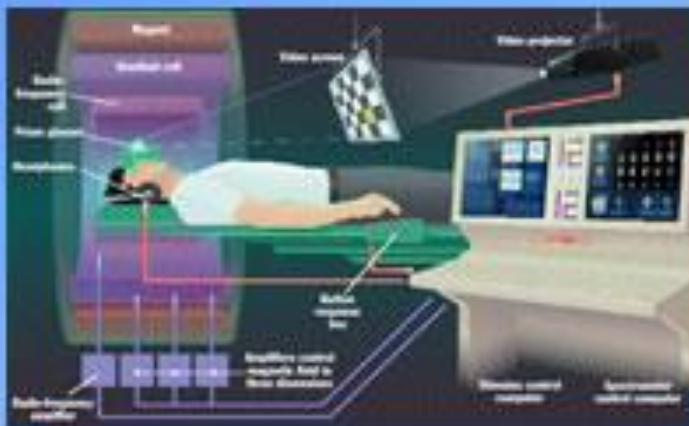
Λειτουργική μαγνητική τομογραφία -συν.

Μειονεκτήματα

- Δεν καταγράφει μειώσεις οξυγόνου
- Καλύτερη ρύθμιση της αιματικής ροής από κάποιες περιοχές του εγκεφάλου
- Έμμεση επίδραση: αλλαγές στην αιματική ροή που προκύπτουν από αλλαγές σε νευρωνική δραστηριότητα
- Κλειστοφοβία
- Κακή χρονική ανάλυση (ως 4 εικόνες/sec)
- Κακή ανάλυση κοντά σε μεγάλες κοιλότητες

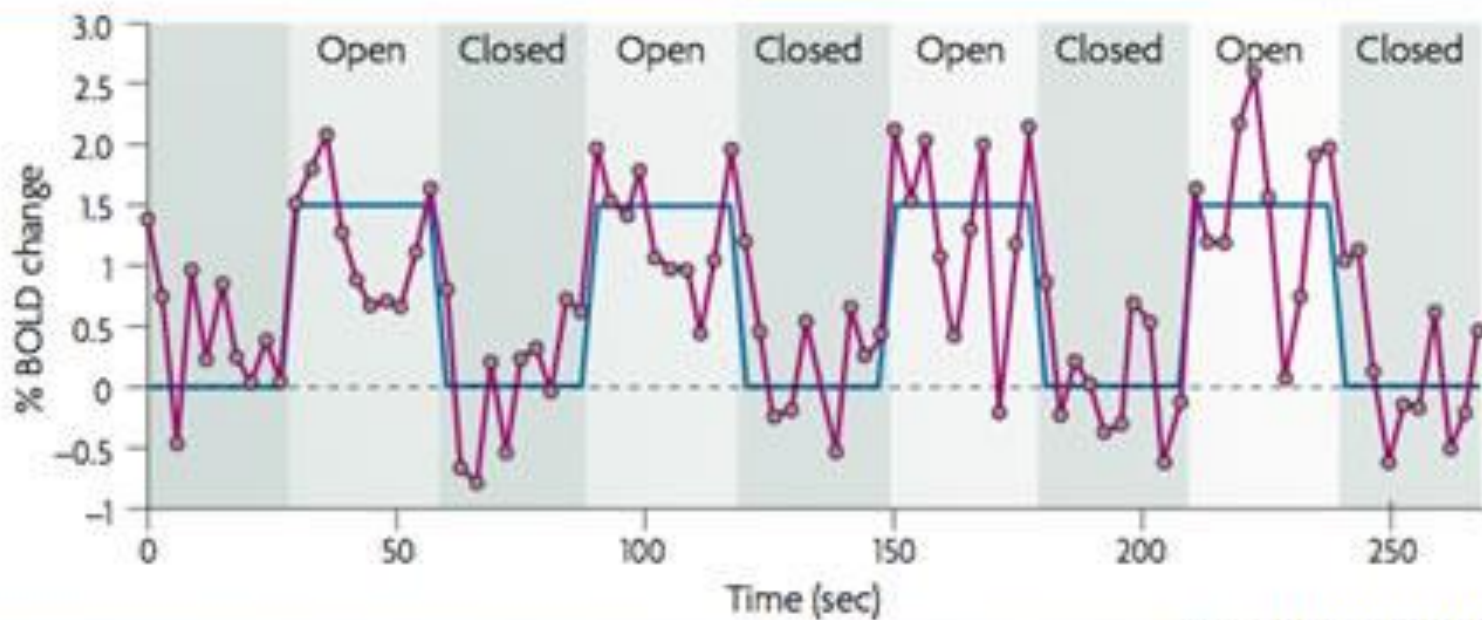
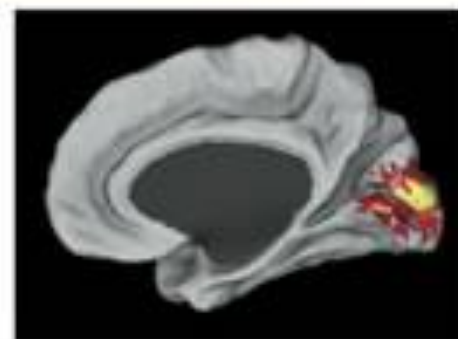
fMRI

Functional MRI



Open - Closed =

Μάτια
ανοιχτά-
κλειστά

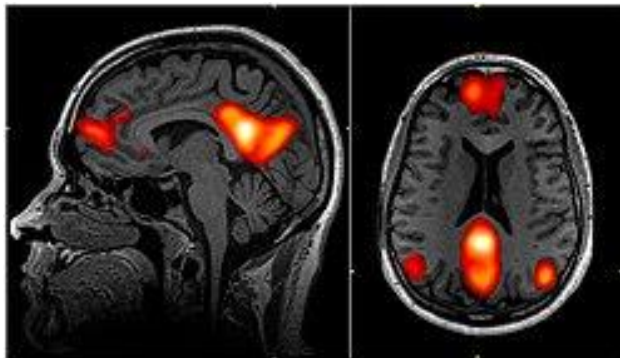


fMRI

- 30'' έκθεση σε οπτικό ερέθισμα
- 30'' κλειστά μάτια
- Οι περιοχές όπου το μαγνητικό σήμα εμφανίζει αλλαγές είναι συνέπεια του οπτικού ερεθίσματος
- Μία *έμμεση* επίδραση της νευρωνικής δραστηριότητας, που συνδέεται με αλλαγές στην αιματική ροή, οι οποίες ακολουθούν τις αλλαγές στη νευρωνική δραστηριότητα

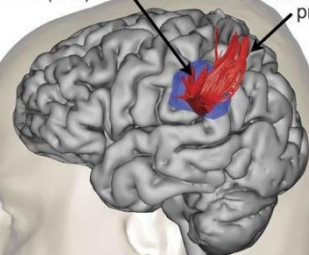
Δίκτυο Προεπιλεγμένης Λειτουργίας (Default Mode Network)

Κατά τη χαλάρωση, εσωτερική εστίαση...

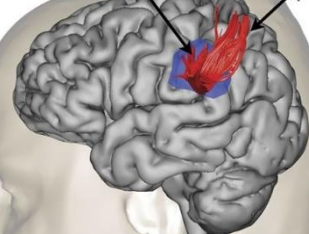


Κατώτερος βρεγματικός φλοιός
(γωνιώδης έλικα)

Inferior parietal
cortex (IPC)



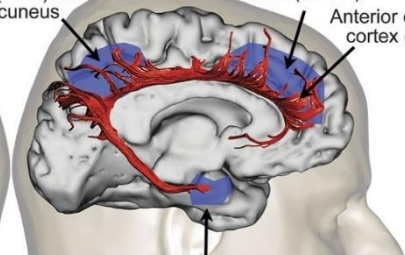
Posterior cingulate
cortex (PCC) and
precuneus



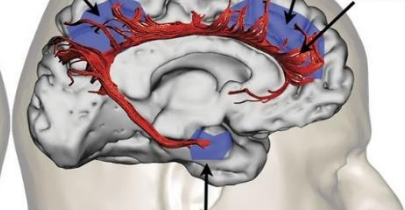
Οπίσθια έλικα προσαγωγείου,
προσφηνοειδές λόβιο

Μέσω προμετωπιαίος
φλοιός

Medial prefrontal
cortex (mPFC)



Anterior cingulate
cortex (ACC)



Medial temporal lobe (MTL)

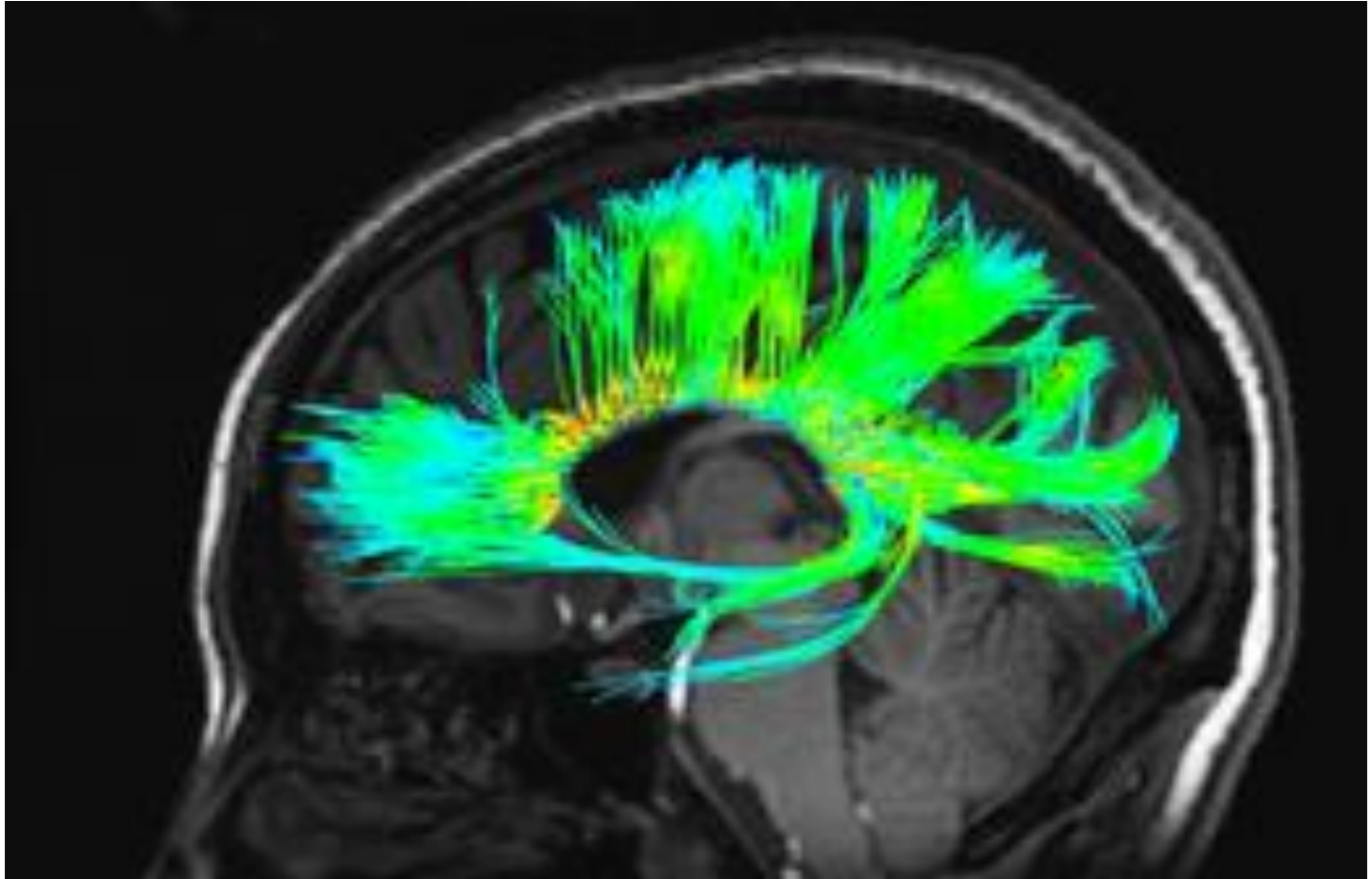
Απεικόνιση Τανυστή Διάχυσης (Diffusion Tensor Imaging, DTI)

- Μετράει την κίνηση των μορίων νερού
- Απεικονίζει την κατεύθυνση ομάδων νευραξόνων (η κίνηση των μορίων νερού ακολουθεί την κατεύθυνση του νευράξονα)
- Απεικόνιση ομάδων νευραξόνων
- Απεικόνιση αλλοιώσεων νευραξόνων
- Το DTI χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση των οδών του εγκεφάλου
- Τα διαφορετικά χρώματα δείχνουν τις διαφορετικές κατευθύνσεις των οδών
- **The Human Connectome Project:** κοινοπραξία ερευνητικών κέντρων που χαρτογραφεί τη συνδεσιμότητα του εγκεφάλου

Απεικόνιση Τανυστή Διάχυσης (Diffusion Tensor Imaging, DTI)

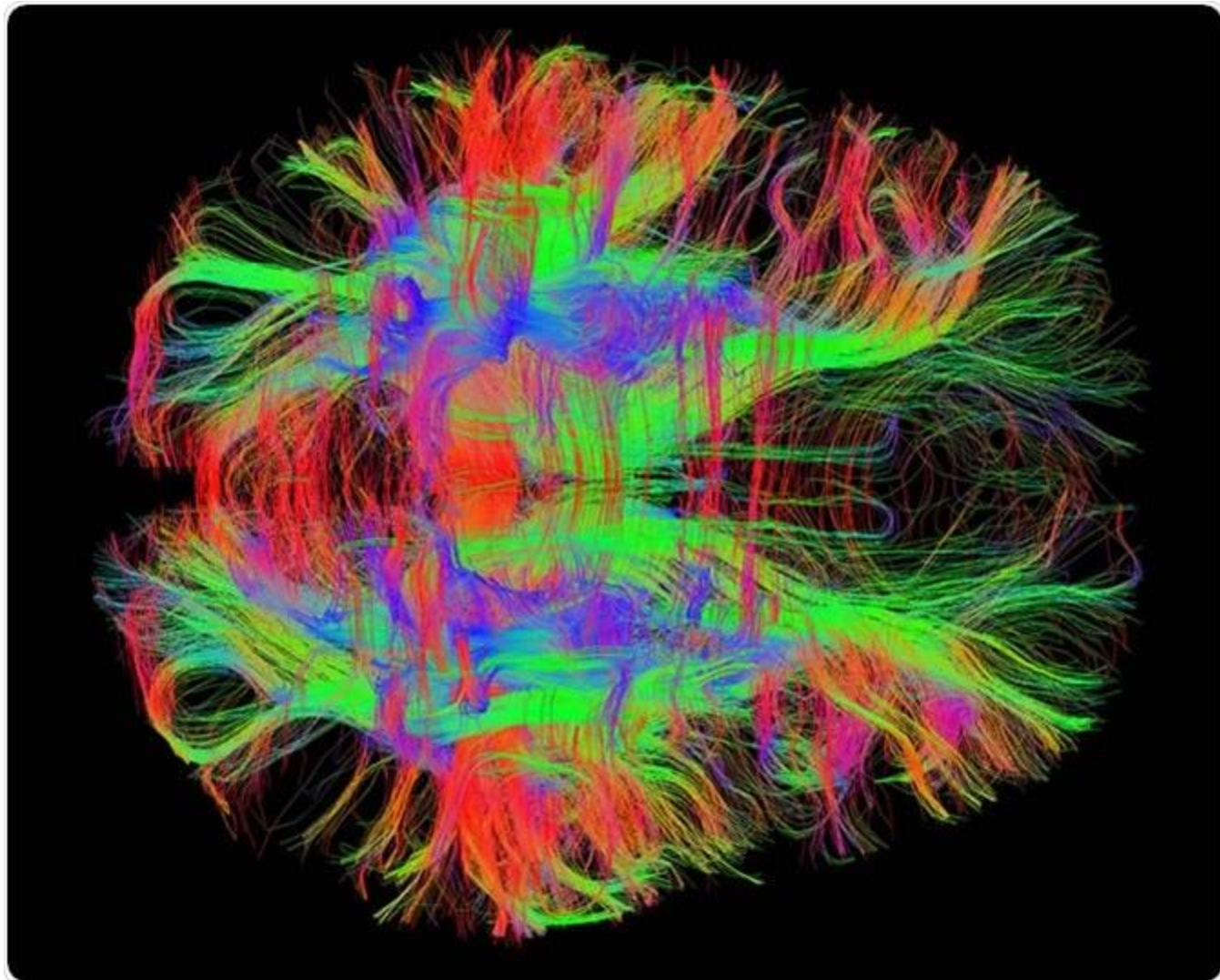
- Μετράει την κίνηση των μορίων νερού
- Απεικονίζει την κατεύθυνση ομάδων νευραξόνων (η κίνηση των μορίων νερού ακολουθεί την κατεύθυνση του νευράξονα)
- Απεικόνιση ομάδων νευραξόνων
- Απεικόνιση αλλοιώσεων νευραξόνων
- Το DTI χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση των οδών του εγκεφάλου
- Τα διαφορετικά χρώματα δείχνουν τις διαφορετικές κατευθύνσεις των οδών
- **The Human Connectome Project:** κοινοπραξία ερευνητικών κέντρων που χαρτογραφεί τη συνδεσιμότητα του εγκεφάλου

DTI



Courtesy of Dr. Lawrence Frank, UC San Diego

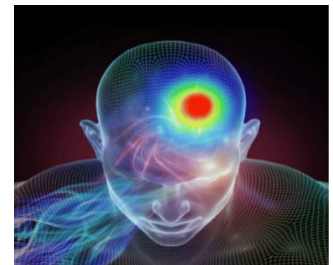
DTI



White matter fiber tracts in the adult human brain. Image Credit:
Zeynep Saygin, mcgovern.mit.edu

Διακρανιακός Μαγνητικός Ερεθισμός (TMS)

- Διοχέτευση παλμών υψηλής τάσης μέσω πηνίου που εφάπτεται στο κρανίο
- Οι παλμοί διαπερνούν το κρανίο και προκαλούν αύξηση ή μείωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου γύρω από το πηνίο
- Το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλει την ηλεκτρική δραστηριότητα των παρακείμενων νευρώνων και ρυθμίζει την μακροπρόθεσμη ενίσχυση των συνάψεων
- Χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση των λειτουργικών περιοχών του φλοιού
- Ερευνητικές και θεραπευτικές εφαρμογές, όπως στη νόσο Αλτσχάιμερ (επαναλαμβανόμενος ΔΜΕ, rTMS)

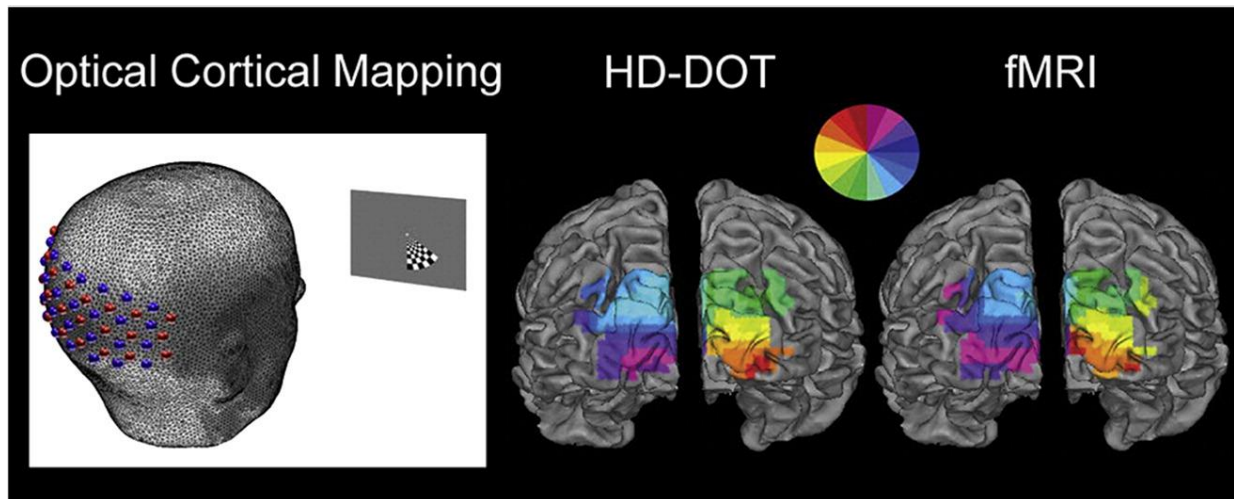


Οπτική τομογραφία

- Το ανακλώμενο φως (πχ., υπέρυθρη ακτινοβολία) μετράει την αιματική ροή, διότι η αιμοσφαιρίνη απορροφά το φως με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το αν το αίμα είναι οξυγονωμένο ή όχι
- Αποτύπωση της μέσης κατανάλωσης οξυγόνου (όπως με την fMRI)
- Η αύξηση οξυγονωμένου αίματος δείχνει ενεργοποίηση του εγκεφάλου
- Εύχρηστος εξοπλισμός
- Όμως το φως δεν διασχίζει τον εγκέφαλο σε βάθος

A quantitative spatial comparison of high-density diffuse optical tomography and fMRI cortical mapping

Adam T. Eggebrecht^a, Brian R. White^{a, b}, Silvina L. Ferradal^{a, c}, Chunxiao Chen^d, Yuxuan Zhan^e, Abraham Z. Snyder^{a, f}, Hamid Dehghani^e, Joseph P. Culver^{a, b, c} ✉



Παρόμοια ποιότητα εικόνας με την fMRI

Λειτουργική Φασματοσκοπία Εγγύς Υπέρυθρου

Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)

- Οπτική, μη επεμβατική παρακολούθηση της νευρωνικής δραστηριότητας με φορητή συσκευή
- Πιο εύχρηστη για ειδικούς πληθυσμούς, βρέφη
- Ανιχνεύει απορρόφηση φωτός που συνδέεται με αλλαγές της αιμοσφαιρίνης με τη νευρωνική δραστηριότητα (αύξηση μεταβολισμού, αιματικής ροής, αιμοσφαιρίνης)
- Το υπέρυθρο φως (μακρά μήκη κύματος) διαπερνά το κρανίο και φτάνει στον εγκέφαλο
- Χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση των λειτουργικών συνδέσεων του εγκεφάλου, για τη μελέτη της σχέσης της εγκεφαλικής δραστηριότητας με τη νόηση
- Εναλλακτική του επεμβατικού τεστ Wada

Λειτουργική Φασματοσκοπία Εγγύς Υπέρυθρου Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)



*Ο συμμετέχων φοράει σύστημα fNIRS,
στο οποίο οι οπτικές ίνες συνδέονται με
συσκευή ελέγχου στο σακίδιο*

Σύγκριση μεθόδων νευροαπεικόνισης

	fNIRS	fMRI	EEG/MEG	PET
Signal	HbO ₂ HbR	BOLD (HbR)	Electromagnetic	Cerebral blood flow Glucose metabolism
Spatial resolution	2–3 cm	0.3 mm voxels	5–9 cm	4 mm
Penetration depth	Brain cortex	Whole head	Brain cortex for EEG/deep structures for MEG	Whole head
Temporal sampling rates	Up to 10 Hz	1–3 Hz	>1000 Hz	<0.1 Hz
Range of possible tasks	Enormous	Limited	Limited	Limited
Robustness to motion	Very good	Limited	Limited	Limited
Range of possible participants	Everyone	Limited, can be challenging for children/patients	Everyone	Limited
Sounds	Silent	Very noisy	Silent	Silent
Portability	Yes, for portable systems	None	Yes, for portable EEG systems	None
Cost	Low	High	Low for EEG; high for MEG	High

Σύγκριση μεθόδων νευροαπεικόνισης

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Καλύτερη χωρική διάκριση από το ΗΕΓ	Χειρότερη χρονική διάκριση από το ΗΕΓ, ΜΕΓ
Καλύτερη χρονική διάκριση από το MRI	Χειρότερη χωρική διάκριση από το MRI
Ανθεκτικό στα τεχνικά σφάλματα λόγω κίνησης	Σφάλματα κίνησης όταν καλύπτεται όλο το κεφάλι
Ασφαλές, φορητό, φτηνό, αθόρυβο, φιλικό στη χρήση	Δεν συλλέγει δομικές απεικονίσεις, νευροανατομικές λεπτομέρειες
Κατάλληλο για διαρκή παρακολούθηση	Βάθος απεικόνισης 1,2-2 εκ. (φλοιός)
Κατάλληλο για όλους, για όλες τις ηλικίες	Απουσία στάθμισης για την ανάλυση δεδομένων
Συμβατό με άλλες ηλεκτρικές και μαγνητικές συσκευές, συνδυάζεται με άλλες μεθόδους (ΗΕΓ, fMRI)	Συστημικές παρεμβολές (αλλαγές στην αιματική ροή, κλπ), όπως και στο fMRI



◦ Η στατική απεικόνιση του εγκεφάλου

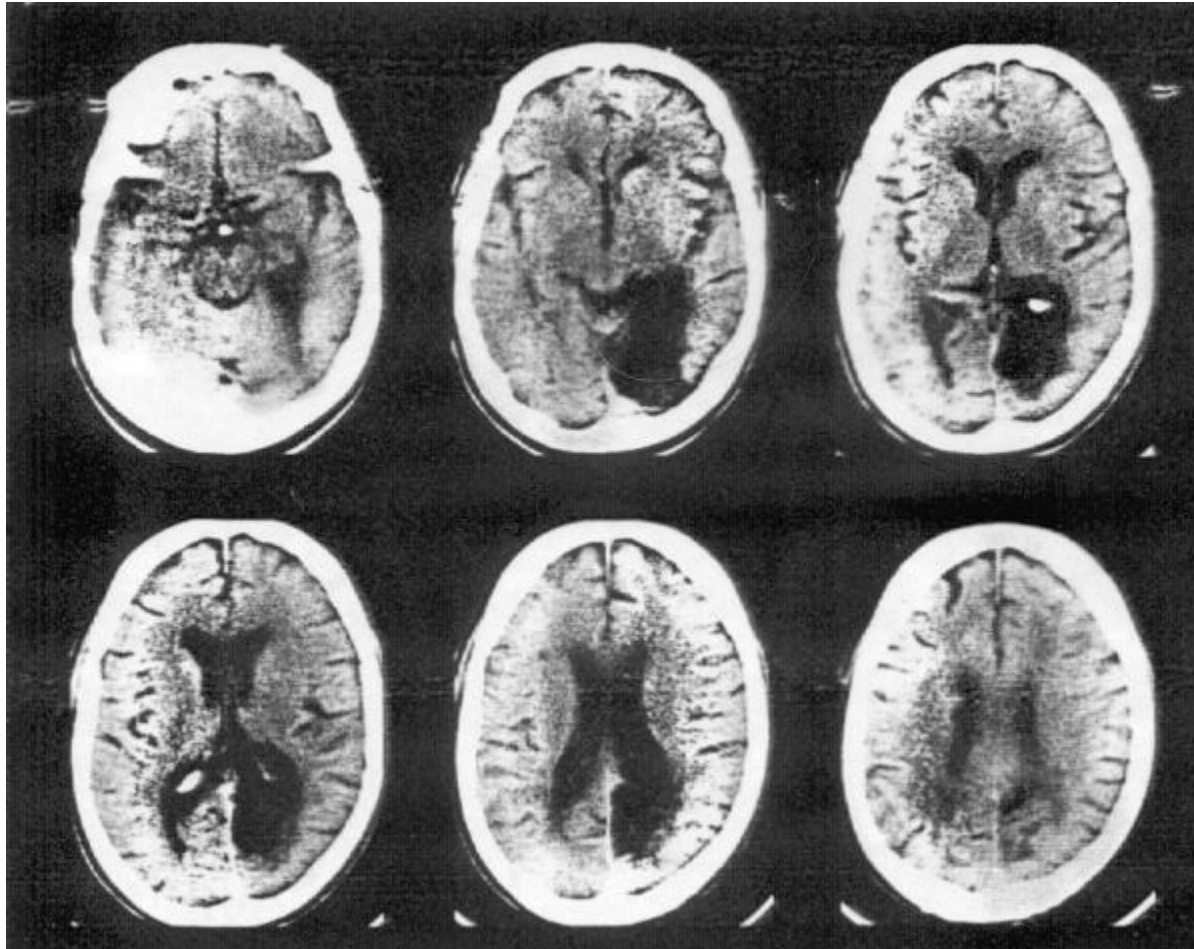
Αξονική τομογραφία (CT)

- Καταγράφει την ποσότητα της ακτινοβολίας που δεν απορροφά ο εγκέφαλος, όταν διαπερνάται από ακτίνες Χ
- Ένας Η/Υ συγκρίνει τα ποσά των ακτινών Χ που απορροφήθηκαν από τον εγκέφαλο σε κάθε σημείο της περιστροφής και δημιουργεί απεικονίσεις του εγκεφάλου
- Τρισδιάστατη απεικόνιση ως αποτέλεσμα της περιστροφής της ακτινοβολίας Χ με κλίση 180° σε 160 διαφορετικές θέσεις ίσων διαστημάτων

Αξονική τομογραφία -συν.

Οι σκοτεινές περιοχές αντιστοιχούν σε περιοχές ελαττωμένης απορρόφησης (κοιλίες, σχισμές, κλπ.) και οι φωτεινές περιοχές σε περιοχές αυξημένης απορρόφησης (φαιά & λευκή ουσία, αυξημένη πυκνότητα). Το κρανίο απεικονίζεται ως ένα λευκό περίγραμμα.

Αξονική τομογραφία -συν.



Μαγνητική τομογραφία (MRI)

- Ανιχνεύει πρωτόνια (πυρήνες υδρογόνου) που αντιδρούν σαν πυξίδες σε μαγνητικό πεδίο
- Κάθε πυρήνας περιστρέφεται και παράγει μαγνητικό πεδίο
- Σάρωση: ισχυρός μαγνήτης περνάει μέσα από το κρανίο και προσανατολίζει τα πρωτόνια σε μία κατεύθυνση
- Αφού τα πρωτόνια διαταχθούν, εκθέτονται σε ένα πεδίο ραδιοσυχνότητας (βραχέα κύματα), που τα κάνει να κινούνται σαν σβούρες.

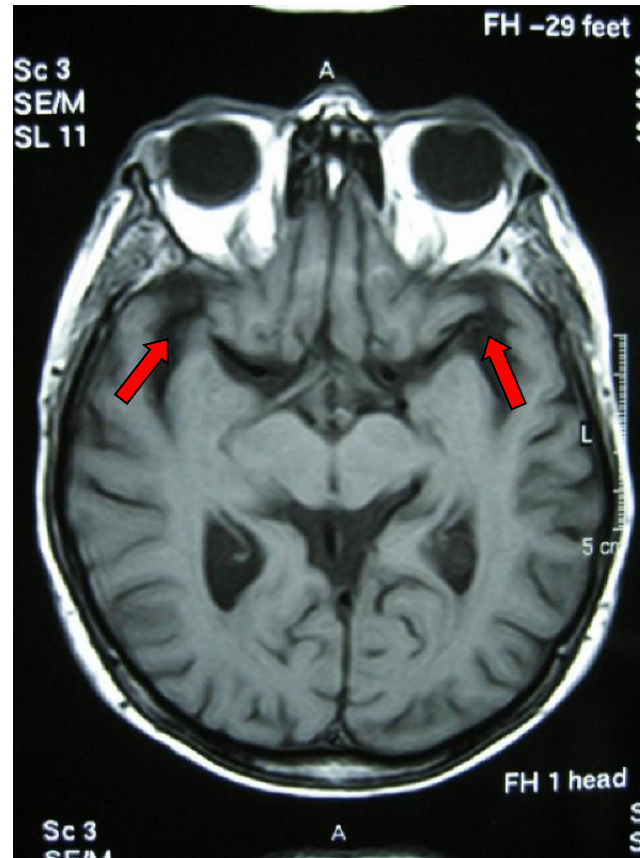
Μαγνητική τομογραφία -συν.

- Όταν σταματήσει το πεδίο ραδιοσυχνοτήτων, τα μόρια διατάσσονται όπως ήταν αρχικά από τον μαγνήτη. Στην κατάσταση αυτή της χαλάρωσης, οι πυρήνες των ατόμων απελευθερώνουν **ηλεκτρομαγνητική ενέργεια**.
- Οι μαγνητικοί τομογράφοι μετρούν **αυτή την ενέργεια και σχηματίζουν μια απεικόνιση του εγκεφάλου**.
- Διαδικασία: χαλάρωση, διέγερση, χαλάρωση των πυρήνων.
- Δείχνει **δομικές αλλαγές**.

Μαγνητική τομογραφία -συν.

- **T1, T2:** ο χρόνος που απαιτείται για την επαναφορά των πρωτονίων στη χαλάρωση (resting state) μετά το κύμα ραδιοσυχνότητας
- **T1-weighted:** φωτίζει λιπίδια, φαίνονται λευκά
- **T2, proton density-weighted:** φωτίζει λιπίδια, νερό, φαίνονται λευκά
- **FLAIR** (Fluid Attenuated Inversion Recovery): Μειώνει το σήμα από το νερό (ENY) –σύγκριση με T2
- **Contrast** (gadolinium-γαδολίνιο): σκιαγραφικό που παράγει υψηλό σήμα T1, αυξάνει την οπτική αντίθεση παθολογικών αλλοιώσεων του ιστού

Μαγνητική τομογραφία –T1



Μαγνητική τομογραφία –T1

Μαγνητική τομογραφία εγκάρσιας τομής (axial T1 weighted MRI slice) ασθενούς στα πρώτα στάδια της νόσου Αλτσχάιμερ, που δείχνει αμφοτερόπλευρη ατροφία του κροταφικού λοβού και της περιοχής του ιπποκάμπου, με διεύρυνση των αυλάκων και της πλάγιας αύλακας (σχισμής του Sylvius).

Η **T1** είναι καλύτερη για ανατομική απεικόνιση και για **διαφορές φαιάς-λευκής ουσίας**. Το ENY φαίνεται μαύρο και η εγκεφαλική ουσία γκριζα ή λευκή.

Μαγνητική τομογραφία –T1



Μαγνητική τομογραφία –T1

Μαγνητική τομογραφία εγκάρσιας τομής (axial T1 weighted MRI slice) ασθενούς που εμφανίζει βλάβη στον οπίσθιο δεξιό κροταφικό λοβό. Η βλάβη περιστοιχίζεται από οίδημα.

Μαγνητική τομογραφία –postcontrast T1



Μαγνητική τομογραφία –postcontrast T1

Μαγνητική τομογραφία εγκάρσιας τομής (axial postcontrast T1 weighted MRI slice) ασθενούς που εμφανίζει βλάβη στον οπίσθιο δεξιό κροταφικό λοβό. Φαίνεται η περίμετρος της βλάβης.

Μαγνητική τομογραφία –T2



Μαγνητική τομογραφία –T2

Μαγνητική τομογραφία εγκάρσιας τομής (axial T2 weighted MRI slice) ασθενούς που εμφανίζει βλάβη στον οπίσθιο δεξιό κροταφικό λοβό.

Η T2 είναι καλύτερη για μικρές παθολογικές αλλοιώσεις γιατί μπορεί να δείξει αλλοιώσεις στη λευκή ουσία. Το ENY φαίνεται λευκό.

Σύγκριση CT & MRI

MRI:

- + Καλύτερη διακριτική ικανότητα, καλύτερη διαφοροποίηση λευκής-φαιάς ουσίας.
- + Δυνατότητα πολλών οπτικών γωνιών.
- Μπορεί να μη διαφοροποιήσει την αιμορραγία, τους όγκους, τις αλλοιώσεις, από το οίδημα.
- Δεν δείχνει οστεοποιημένες αλλοιώσεις.
- Δεν μπορούν να την κάνουν άτομα με μεταλλικά αντικείμενα στο σώμα τους (βηματοδότες, θραύσματα, κλπ).
- Αργή διαδικασία (15') – κλειστοφοβία.